



Satellitennavigation als Basis innovativer Verkehrsanwendungen

Prof. Dr. Thomas Strang, Institut für Kommunikation und Navigation, DLR



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

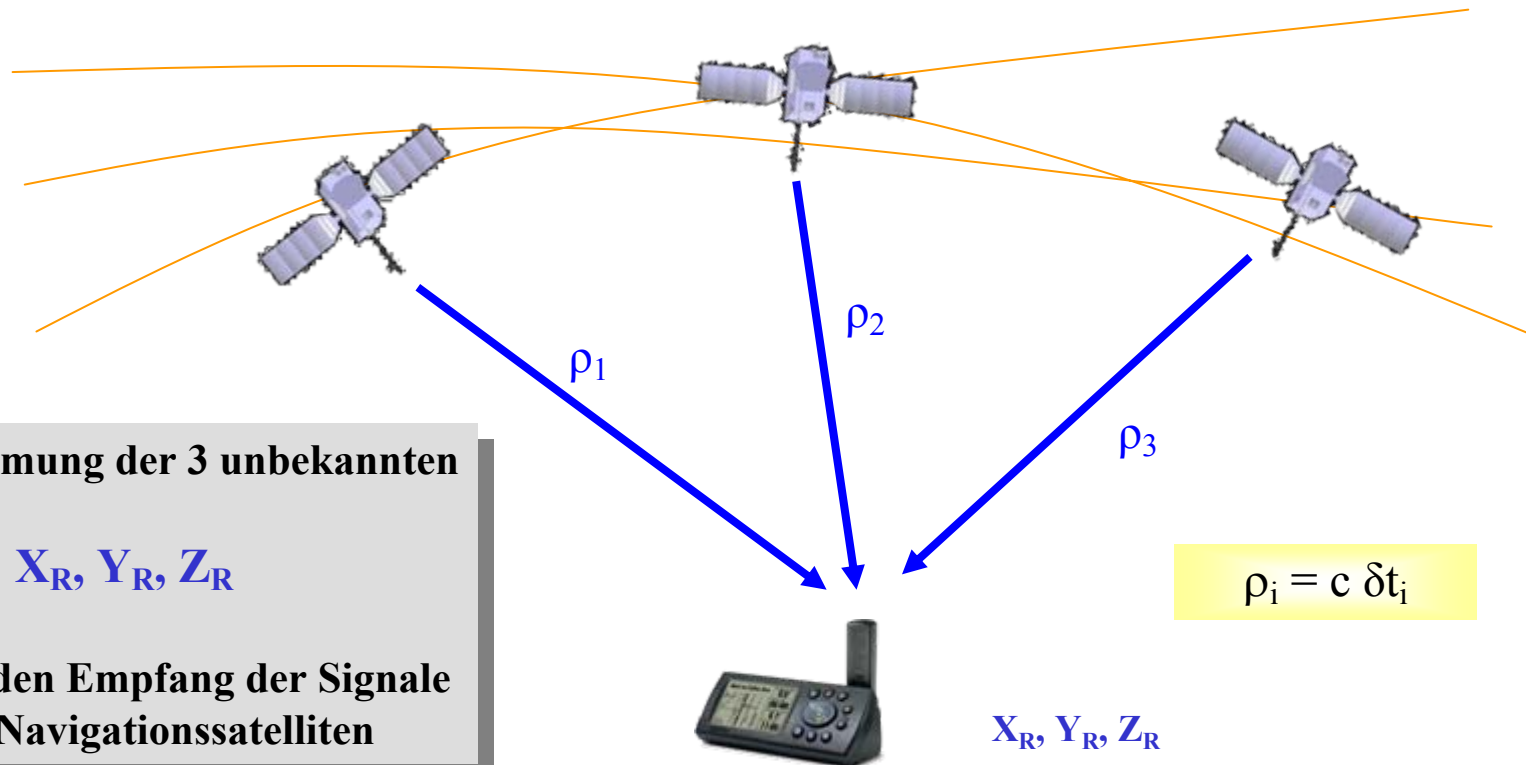


Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

Grundprinzip der Ortung mit Navigationssatelliten

- Die Bestimmung der Entfernung zum Navigationssatelliten basiert auf der Bestimmung der Laufzeitverzögerungen ($\delta t_1, \delta t_2, \delta t_3$) vom Satellit zum Empfänger → sogenannte „pseudo ranges“ (ρ_1, ρ_2, ρ_3) zwischen Satelliten und Empfänger



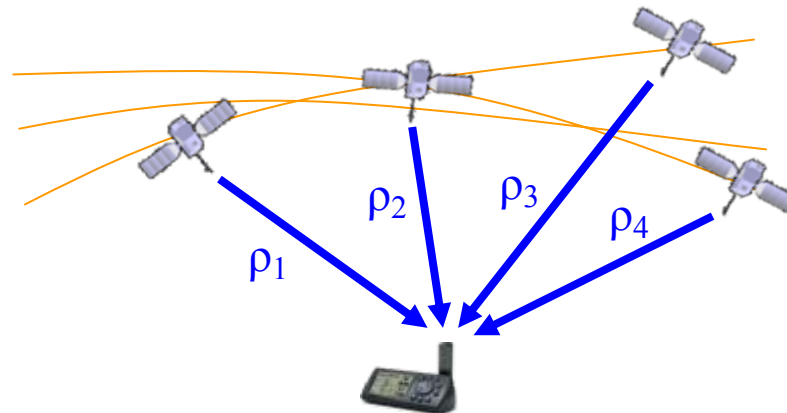
Grundprinzip der Ortung mit Navigationssatelliten

➤ Leider nicht so einfach, denn:

- Der Empfänger müßte hierzu mit den Uhren der Satelliten synchronisiert sein, was aber nicht möglich ist (oder der Empfänger führt eine Atomuhr mit sich)
- Daher gibt es Abweichungen zwischen der Uhr des Empfängers und den Uhren der Satelliten
- Eine Abweichung von 1 ns bedeutet eine Abweichung 30 cm (in 1 μ s breitet sich das Signal 300 m aus) !

➤ Lösung:

- Zur Bestimmung einer 3D Position werden 4 Satelliten verwendet





Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

Es existieren mehrere verschiedene Ansätze (jedes mit globaler Abdeckung):

➤ GPS

- USA; militärisches System
- 2 Basisdienste

➤ GLONASS

- Russland; militärisches System

➤ GALILEO (zukünftig)

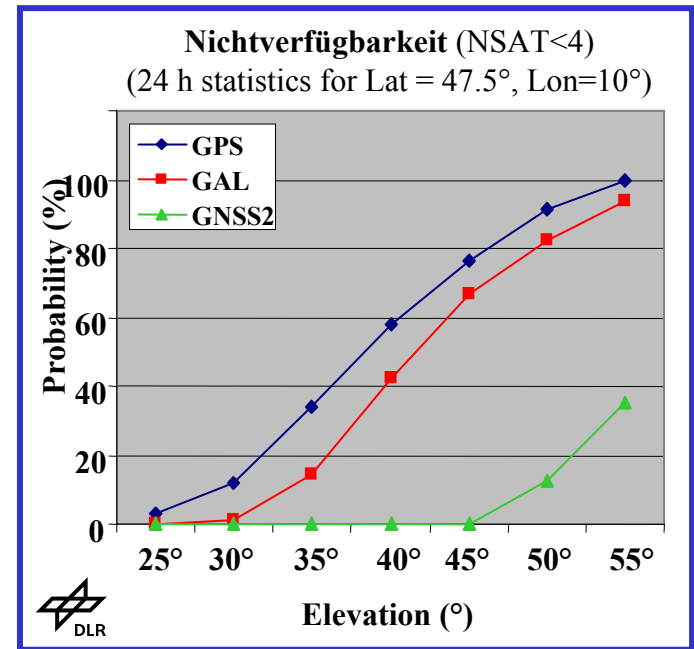
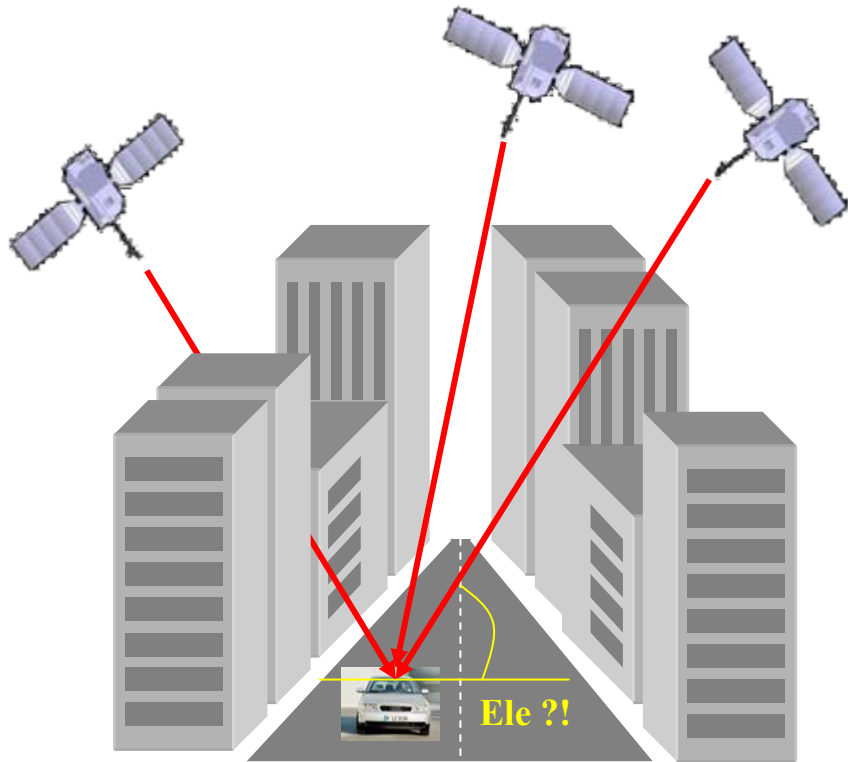
- Europa; ziviles, öffentlich reguliertes System
- 5 Basisdienste (4 Nav, 1 Com)

➤ COMPASS (zukünftig)

- China

Interoperabilität von GPS und GALILEO

Verfügbarkeit wesentlich höher durch ca. Verdopplung der Anzahl der Satelliten



**Höhere Verfügbarkeit
in kritischen Umgebungen
wie Straßenschluchten**





Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

GNSS Basisdienste

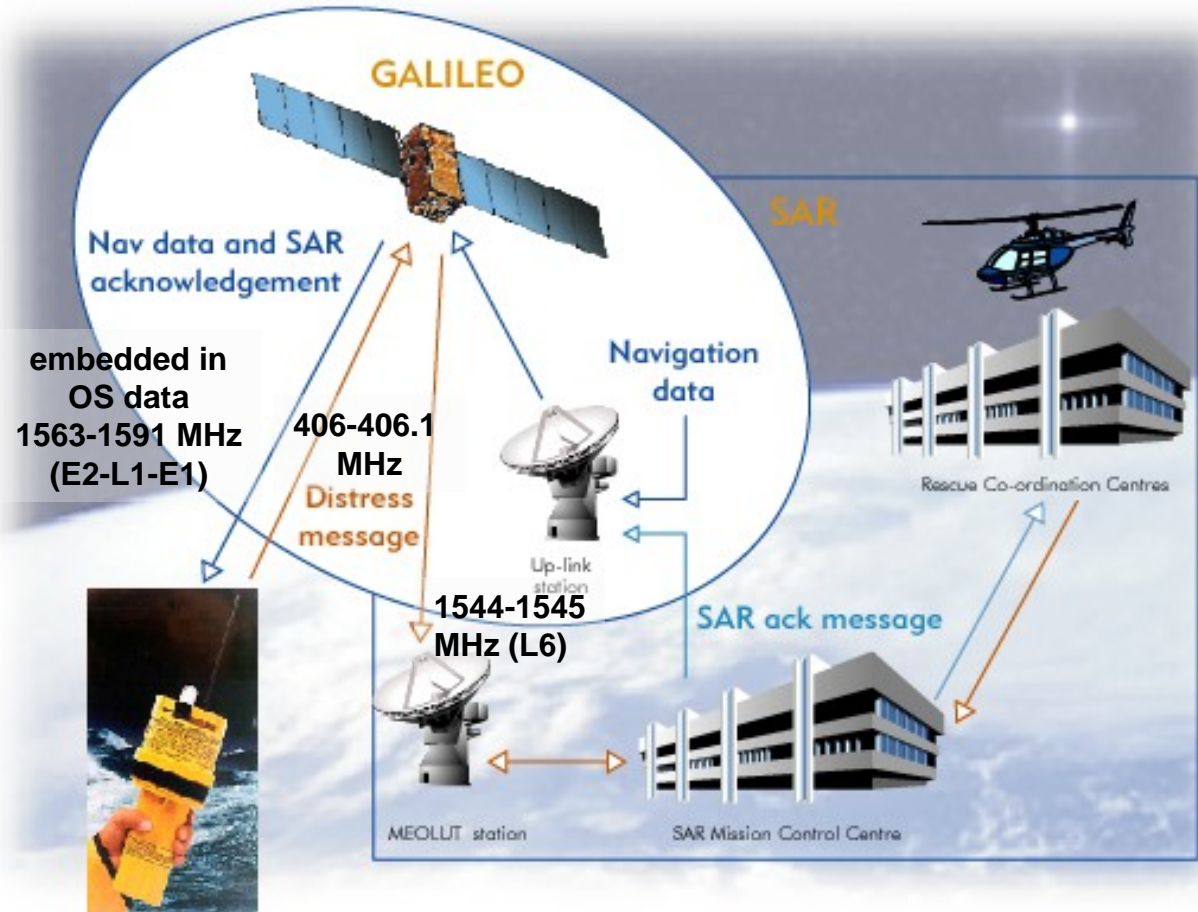
Name des Dienstes	Open service (OS)	Safety of Live (SoL)	Commercial service (CS)	Search & Rescue (SAR) COM	Military (PRS)
Technische Merkmale	Frei zugängliches Signal, 2 Frequenzbänder (GALILEO) bzw. 1 (GPS), gemeinsame Frequenz in L1	Gleiche Frequenzbänder wie OS plus zusätzlicher Integritätsinformation	3 Frequenzbänder; Preise noch nicht veröffentlicht	Notruf mit Rückkanal; kann in Richtung SMS-ähnlicher Dienst erweitert werden	2 separate Frequenzbänder
Vorteil von Galileo gegenüber GPS	Höhere Verfügbarkeit, bessere DOP-Werte, bessere Genauigkeit	Integrität	Höhere Genauigkeit, Integrität, Broadcast-Communication mit sehr geringer Bandbreite	Existiert nicht in GPS	Unabhängigkeit (politische Zuverlässigkeit)
Beispiel	Ortung und Navigation im Verkehrs, Mautsysteme, Logistik	Luftfahrt, Schifffahrt, Bahn	Geodäsie, Bauwesen, Präzisionslandwirtschaft	Notrufe	Militärische Nutzung

Search and Rescue (SAR) Dienst

Ergänzung zu existierendem COSPAS-SARSAT System besteht aus sechs polumlaufenden niedrigfliegenden Wetter- und Klimasatelliten und fünf geostationären Satelliten, vorwiegend für den maritimen Einsatz

Ziele:

- Fast-Echtzeit Empfang von Notsignalen (bisher bis zu 1 Stunde)
- Inherente exakte Position
- Globale Verfügbarkeit
- Rückkanal
- derzeit 5 GEOs and 6 LEOs + dann 27 MEOs





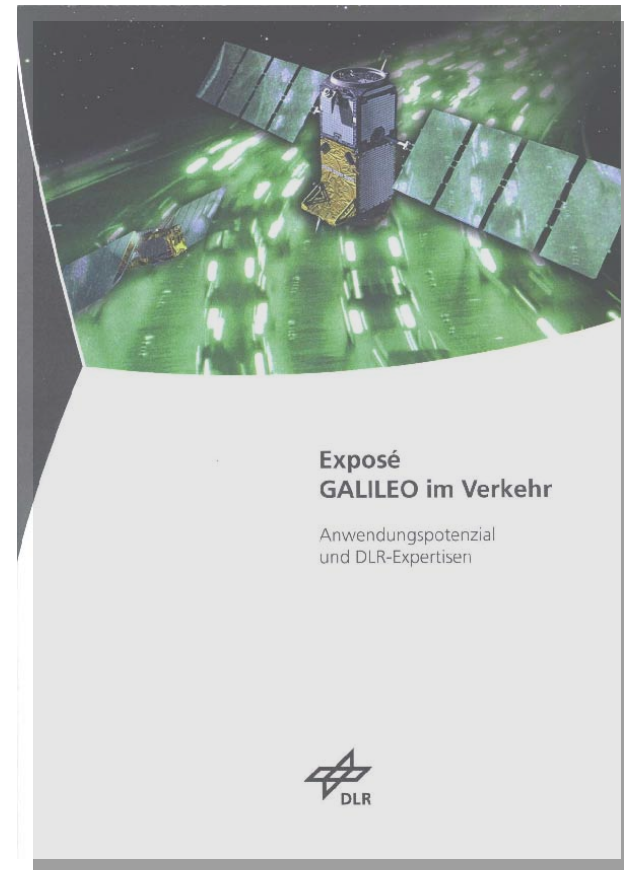
Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

Übersicht Anwendungspotenzial SatNav im Verkehr

Giszczak, A.; Lenz, B.; Meyer zu Hörste, M.; Noack, T.; Schäfer, R.-P.; Schlingelhof, M.; Strang, T.; Zukunft, D.:

Exposé GALILEO im Verkehr - Anwendungspotential und DLR-Expertisen. Programmdirektion Verkehr, DLR [Hrsg.], Mai 2005



[<http://elib.dlr.de/21016/>]

Verkehrliche Anwendungsfelder: Straßenverkehr

- **Verkehrszustandserfassung (FCD, FTD):** Erfassung von Verkehrszustand und -dichte. Aus der bewerteten Information können weitere Informationen abgeleitet werden, z. B. Ausweich- oder Umwegempfehlungen.
- **Generierung von Verkehrsinformationen:** Aus der Verkehrszustandserfassung können Empfehlungen für stationäre Anzeigen generiert und veröffentlicht werden.
- **Echtzeitroutenführung:** Führung des Fahrzeugs vom Startpunkt zum Zielpunkt, z. B. Führung des Fahrers zum freien Parkplatz im Parkhaus.
- **Notfallmanagement:** Ein Unfall kann automatisch gemeldet werden und es können ggf. sogar **eCall2** bereits in Abhängigkeit von bestimmten Parametern differenzierte Reaktionen ausgelöst werden.
- **Flotten- und Frachtmanagement (Logistik):** Die Erfassung und Auswertung des Zustands des Fahrzeugs und der Fracht sowie ggf. Auslösung einer Aktion (z. B. Instandsetzung, Wartung, etc.).
- **Gefahrgutüberwachung:** Kontinuierliches Überwachen und gezieltes Auslösen von Aktionen in Gefahrguttransporten auf der Basis von Zeit- und Ortsdaten. **Nutzung von SAR++**
- **Rückführung gestohlener Fahrzeuge:** Identifizieren und Lokalisieren **hochpräzise Ortung**
- **Elektronische Leitplanke:** Hochpräzise Fahrzeugführung an gefährlichen Streckenabschnitten
- **Automatische Fahrerunterstützung:** Unterstützung für zeit-, strecken- oder energieoptimales Fahren. Eine Ergänzung um Gefahren- und Kollisionswarnung ist möglich.
- **Spur- und Abstandskontrolle:** Dienst in Ausprägung aller drei Kategorien (Informationssystem, Steuerungssystem, Sicherungssystem) zur Einhaltung fester Mindestabstände in alle Raumrichtungen zu anderen Fahrzeugen und zur Umgebung. Koordination verschiedener On-Board-Systeme unterschiedlicher Fahrzeuge, insbesondere unter Verwendung von Car2Car.
- **Automatische Erhebung von Straßennutzungsgebühren:** elektronische Verfahren zur genauen standortabhängigen Gebührenerhebung z. B. für Straßenbenutzung, Tunnel, Brücken, Parkgebühren, usw. mit international standardisierten Verfahren, Protokollen und Endgeräten. Wiederfinden des Fahrzeugs im Parkhaus.
- **Blackbox im Auto:** Aufzeichnung der Verkehrsparameter zur Auswertung bei einem Unfall. **verbindliche Garantien bei SoL**



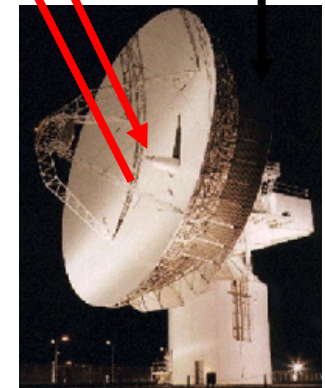
(Extended) Floating Car Data (XFCD)

XFCD via GSM



XFCD via Satellit

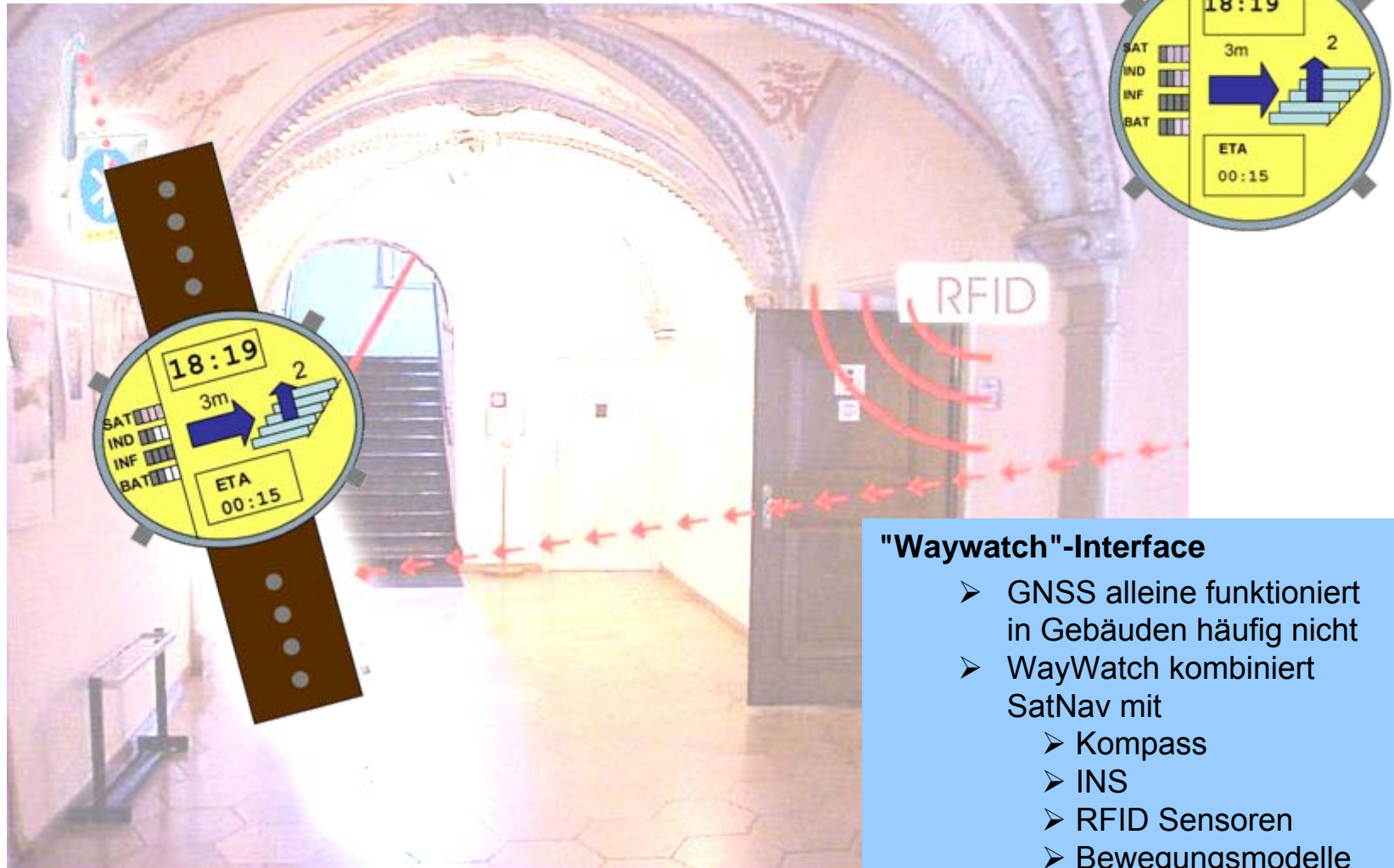
- billigere Datenerfassung und -fusion im Vergleich mit GSM, globale/großregionale Abdeckung, kein Roaming notwendig, hohe Datenrate, skalierbar



Verkehrliche Anwendungsfelder: Fußgänger, Radfahrer

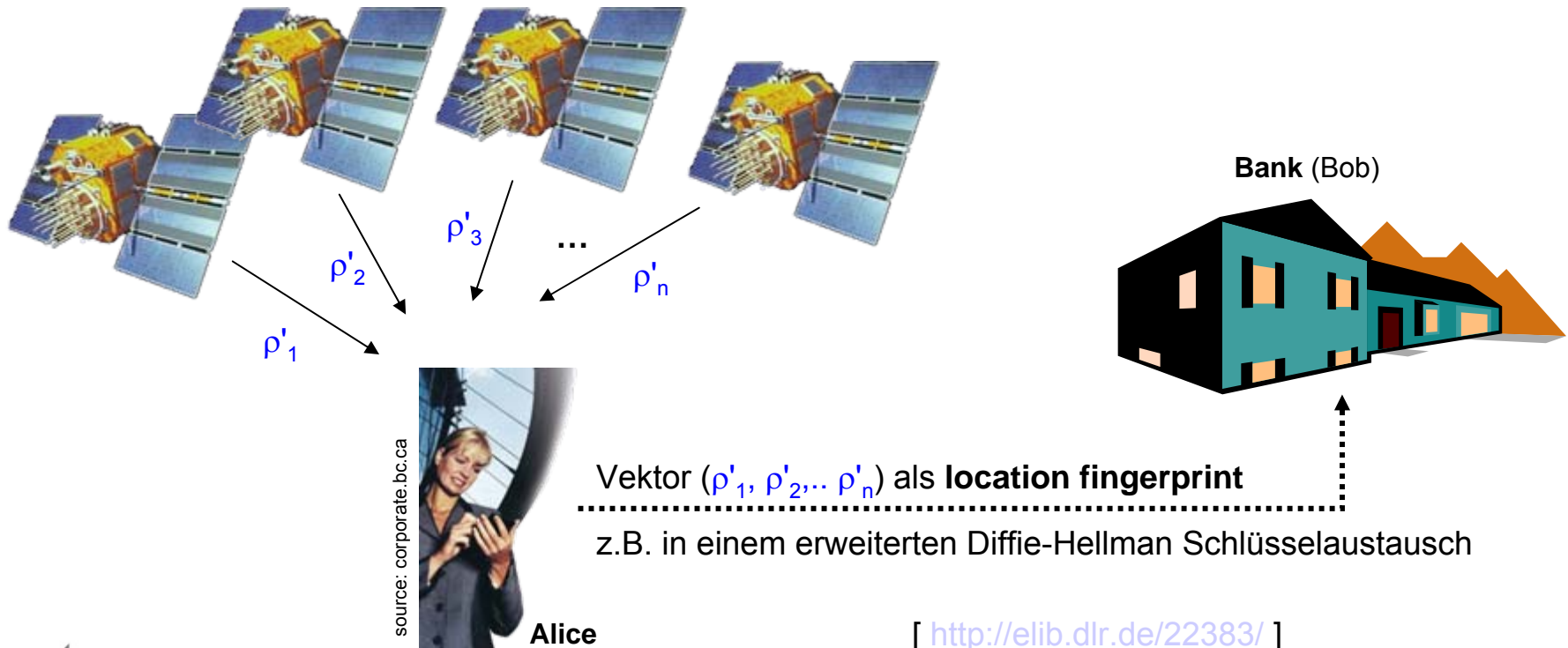
- **Routenführung:** Führung der Person vom Startpunkt zum Zielpunkt, z. B. Führung des Benutzers von Haustür zu Haustür oder zum bezahlten Platz im Stadion/Parkhaus (indoor und outdoor).
- **Fahrgastinformationen (ÖPV):** Information des Reisenden über Routen, (öffentliche) Verkehrsmittel, Anschlüsse und Umsteigemöglichkeiten auf der Reise von der Starthaltestelle zur Zielhaltestelle.
- **Mobile Bezahlungssysteme (Mobile Ticketing):** elektronische Verfahren zur genauen standortabhängigen Gebührenerhebung z. B. für Fahrscheine, Eintrittsgelder, usw. mit international standardisierten Verfahren, Protokollen und Endgeräten. Daneben auch möglich: Ortsbasierte und zeitabhängige Preisberechnung bestimmter Bereich im Stadion o. ä.
- **Kartenerfassung:** Erfassung, Validation und Update von Karten auf der Basis von Daten, die durch Fußgänger z. B. persönliche Reiseassistenten (Personal Travel Assistant – PTA) erfasst werden.
- **Nutzerauthentifikation:** Authentifizierung einer Entität in einem System durch Wissen über geographische Position der Entität. In Erweiterung auch Authentifizierung durch Eigenschaften mittels GNSS-Empfänger ("geographischer Fingerabdruck").
- **E911/E112/SAR-Unterstützung:** unter Nutzung des SAR-Com-Kanals (oder eines zusätzlichen Transponders), insbesondere in Ergänzung zu GSM-Netzen (eCall), Übertragung wichtiger Situationsdaten bei Vorliegen einer Gefahrenlage (z. B. Havarie, Überfall, Entführung, medizinische Notlage von unter Beobachtung stehenden Personen/Patienten, Folge: Erhöhung der Mobilität bei gleichzeitiger Reduzierung von Betreuungsaufwand und Kosten).
- **Gesundheitsüberwachung (Health monitoring):** Erfassung von Gesundheitsdaten in Echtzeit an der Person (z. B. Puls, Blutdruck, etc.) und ggf. Übertragung eines Alarmsignals, wenn ein Grenzwert über- oder unterschritten wird.

Kombinierte Indoor&Outdoor Navigation



Geographische Authentifikation

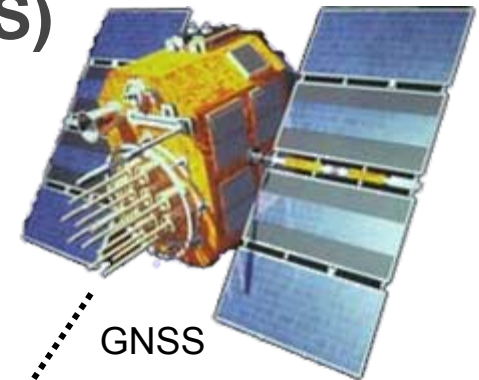
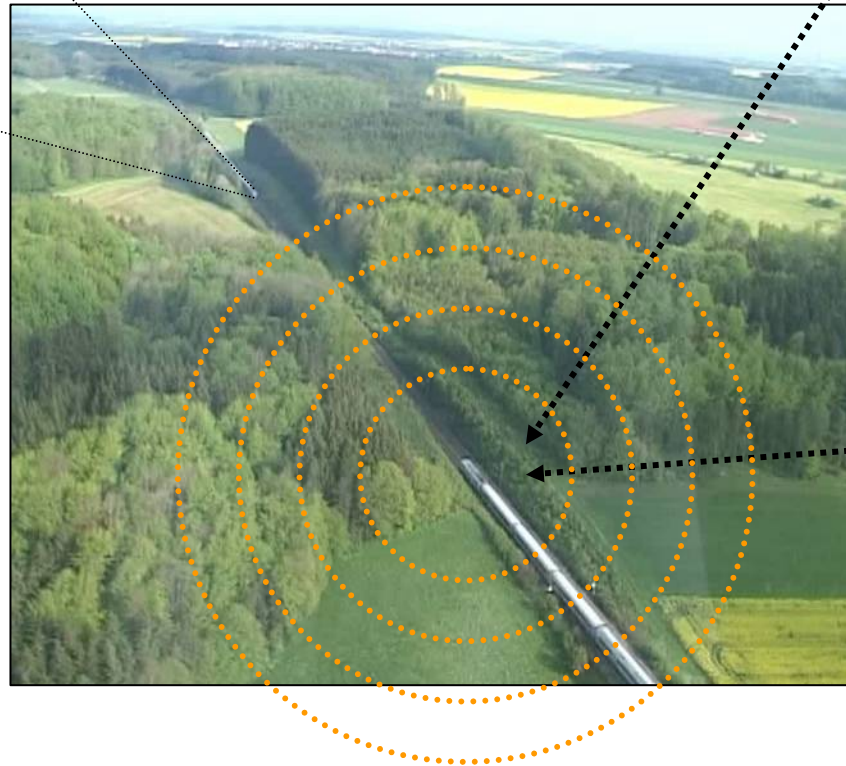
- Authentifikation über Eigenschaften (vgl. Biometrie)
 - zeitliche und örtliche Einzigartigkeit der Signale (Galileo, GPS)
 - Verwendung der Pseudoranges $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ als Alice's "Eigenschaft" (geographischer Fingerabdruck)



Verkehrliche Anwendungsfelder: Schienenverkehr

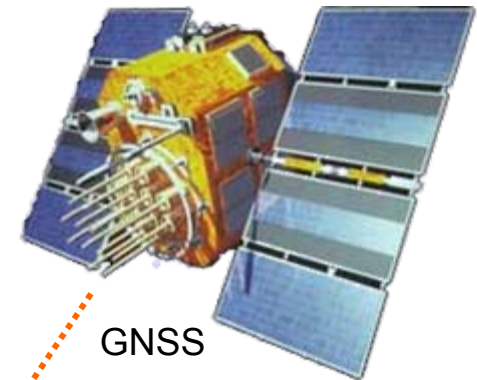
- **Zuglokalisierung:** Bestimmung der Position eines Zugs in geographischer und topologischer Hinsicht. Die topologische Position ist die Basis für viele weitere Automatisierungsfunktionen.
- **Zugsteuerung und -beeinflussung:** Auf der Basis der topologischen Position können Funktionen der Steuerung (automatische Fahren, Zielbremsung) und der Sicherung (Abstandshaltung) realisiert werden.
- **Zugvollständigkeits- und Zuglängenüberwachung:** Positionsbasierte Überwachung zur Erkennung unerwünschter Zugtrennungen, z.B. in Form einer Längenüberwachung
- **Infrastrukturvermessung:** Erfassung und Auswertung des Zustands der Strecke (Gleise, Brücke, Tunnel etc.)
- **Energieoptimales Fahren:** Automatisierungssystem, das auf der Grundlage der topologischen Position die aus Energieverbrauchssicht optimalen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Verzögerungen (Generatorische Bremse) auslöst.
- **Fahren im absoluten und relativen Bremswegabstand:** Das Fahren im Bremswegabstand verlangt eine extrem genaue Bestimmung des relativen Abstands. Diese kann aus der Differenz zweier absoluter Positionen bestimmt werden.
- **Frachtüberwachung:** Die Erfassung und Auswertung des Zustands der Fracht
- **Dispositions-Unterstützung:** Erfassung und Auswertung des Zustands der Schienenfahrzeuge, ggf. Auslösung einer Anforderung einer zustandsabhängigen Wartung oder Instandsetzung.
- **Fahrplanverfolgung:** System zur Feststellung, ob der Zug sich zum aktuellen Zeitpunkt noch innerhalb des vorgegebenen Fahrplans befindet, ggf. Anzeige der Abweichung.
- **Kollisionswarnung:** System zur Erkennung und Warnung bei möglichen Kollisionen, eine Ergänzung in Richtung automatischer Eingriff ist denkbar.
- **Triebfahrzeugführerassistenzsysteme:** Unterstützung für fahrplangenaues oder energie-optimales Fahren, Ergänzung um Kollisionswarnung.
- **Bahnsteigbezogene Warnansagen:** Automatische Warnung am richtigen Bahnsteig bei Einfahrt oder Durchfahrt des Zugs.

Railway Collision Avoidance System (RCAS)



SatNav in Verbindung mit Kommunikation

➤ Sensorinformationen vorausfahrender Züge



GNSS



Temperatur
Sensor



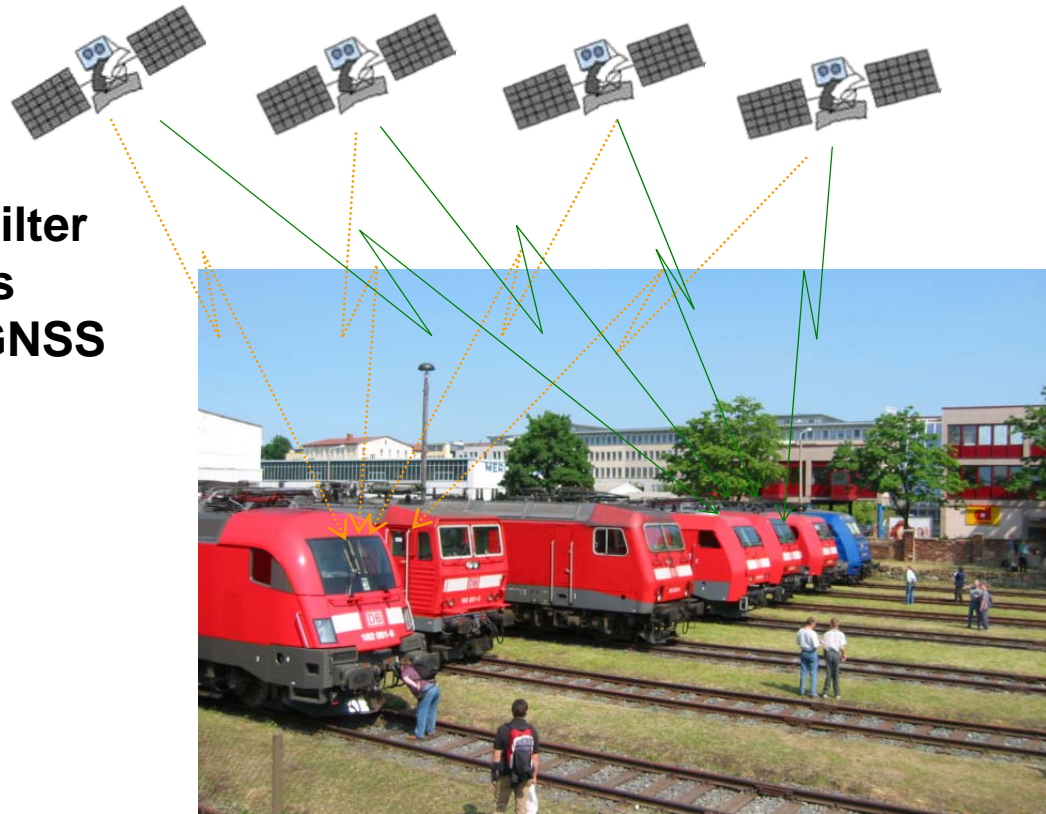
Verkehrliche Anwendungsfelder: Intermodale Ansätze

- **Integratives Flotten- und Frachtmanagement (z. B. Schiff-Hafen-Schiene):** Nutzung der Positionsangaben seeseitig bereits bestehender Identifizierungssysteme (AIS) für den landseitigen Übergang auf Frachtflotten mit dem Ziel der Verbindung zu landseitigen Logistiksystemen über standardisierte Schnittstellen.
- **intermodale Frachtverfolgung:** Zeit- und ortsgenaue Verfolgung von Gütern über die gesamte Logistikkette unabhängig von Verkehrsträger durch Einsatz miniaturisierter Empfänger (zum Beispiel auf Basis von FPGA's).
- **Verkehrsträgerübergreifende Reiseempfehlung in Echtzeit:** Entwicklung standardisierter Telematik-Plattformen für den mobilen und portablen Einsatz zur multimodalen Verkehrsdatenerfassung und Verkehrsinformation, aufsetzend auf verbreiteten Kommunikations-, Ortungs- und Multimedia-Standards (z. B. auf der Basis von COTS-Produkten), Generierung vielseitiger Mehrwertdienste auf einem Endgerät, dadurch höhere Akzeptanz und schnellere Marktdurchdringung.
- **erweiterte Telematik/Telemetrie:** Gezieltes Auslösen von Aktionen in (Gefahrgut-) Transporten auf der Basis von Zeit- und Ortsdaten.
- **Umweltdatenerfassung:** durch Fahrzeugflotten mit GNSS-Empfänger und spezifischen Sensoren als kostengünstiges Nebenprodukt (z. B. xFCD), Anwendungen: Generierung von aktuellen Umwelt- oder Verkehrsdaten, Attributierung von digitalen Verkehrsnetzdaten, usw.

Geographische/Zeitliche Synchronisation

- Interferenzen durch hohe Fahrzeugdichte in einer geografischen Region
 - Zuweisung eines ortsspezifischen Zeitfensters (Slot) zur Nachrichtenübermittlung

- Synchronisation verteilter Systeme über präzises Zeitsignal (Virtueller GNSS Dienst)



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Prof. Dr. Thomas Strang
thomas.strang@dlr.de